

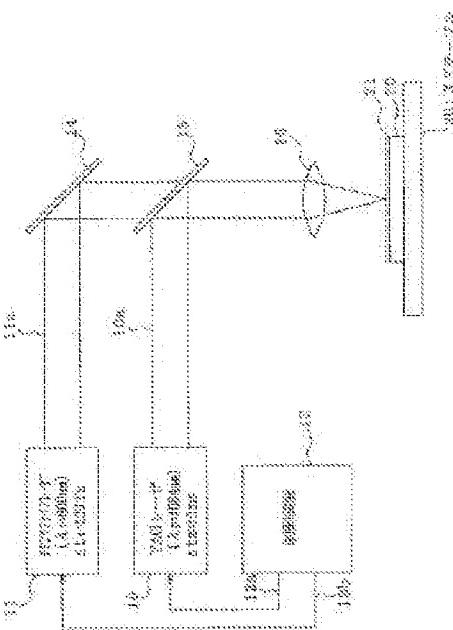
LASER BEAM PROCESSING METHOD AND ITS APPARATUS**Publication number:** JP2001212685 (A)**Also published as:****Publication date:** 2001-08-07

JP3982136 (B2)

Inventor(s): AMAKO ATSUSHI; UMETSU KAZUNARI; NAKAO HITOSHI +**Applicant(s):** SEIKO EPSON CORP +**Classification:****- international:** B23K26/00; B23K26/06; B23K26/38; H01S3/00; B23K26/00;
B23K26/06; H01S3/00; (IPC1-7): B23K26/00; H01S3/00**- European:** B23K26/06B4B**Application number:** JP20000027806 20000204**Priority number(s):** JP20000027806 20000204**Abstract of JP 2001212685 (A)**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laser beam processing method in which both of an ablation and heat transmission effect are compatible with each other and a high-precision fine processing is also attainable, and its apparatus.

SOLUTION: A YAG laser 10 for irradiating a laser beam to a processed object for pre-heating and a titanium sapphire laser (femto-second laser) 11 for processing a pre-heated processed object by an irradiation of the laser beam are provided. Namely, the processed object is first pre-heated by the YAG laser 10 and then processed by the titanium sapphire laser (femto-second laser) 11. Any residues are not existed around a processed bottom portion, and further, heat damage for a periphery of the processed portion is restrained so that a sharp processed profile is obtained.

Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-212685

(P2001-212685A)

(43) 公開日 平成13年8月7日 (2001.8.7)

(51) Int.Cl.⁷

B 23 K 26/00

識別記号

3 3 0

F I

テマコト[®] (参考)

H 01 S 3/00

B 23 K 26/00

3 3 0 4 E 0 6 8

M 5 F 0 7 2

H 01 S 3/00

B

審査請求 未請求 請求項の数20 O.L. (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願2000-27806(P2000-27806)

(22) 出願日

平成12年2月4日 (2000.2.4)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 尼子 淳

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72) 発明者 梅津 一成

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74) 代理人 100061273

弁理士 佐々木 宗治 (外3名)

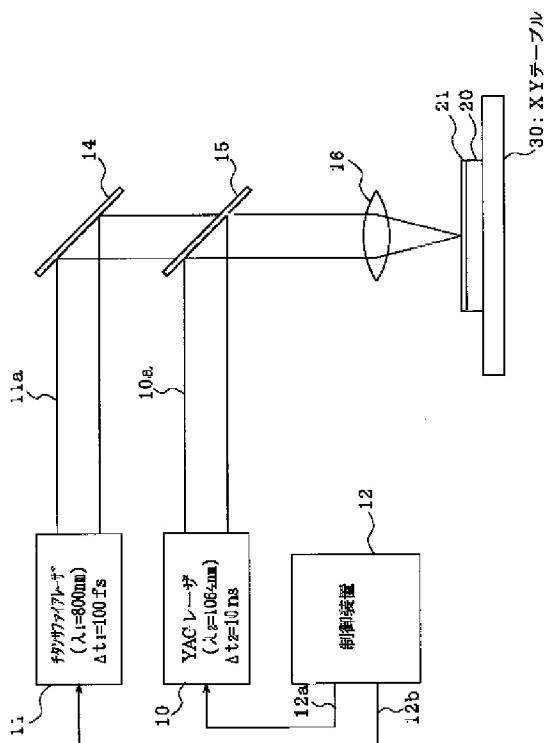
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】 アブレーションと熱伝導効果とを両立させて高精度な微細加工を可能にしたレーザ加工方法及びその装置を提供する。

【解決手段】 被加工物にレーザ光を照射して予熱するYAGレーザ10と、被加工物にレーザ光を照射して予熱された被加工物を加工するチタンサファイアレーザ(フェムト秒レーザ)11とを有する。YAGレーザ10により被加工物を予熱してからチタンサファイアレーザ(フェムト秒レーザ)11により加工する。加工底部に残渣が生ぜず、また、加工周囲の熱損傷が抑制され、シャープな加工形状が得られる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1のレーザ光を照射して被加工物を予熱する工程と、第2のレーザ光を照射して予熱された被加工物を加工する工程とを有し、前記第2のレーザ光は超短パルスレーザ光であることを特徴とするレーザ加工方法。

【請求項2】 前記超短パルスレーザ光はフェムト秒レーザ光であることを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。

【請求項3】 前記第1のレーザ光は連続したレーザ光であることを特徴とする請求項1又は2記載のレーザ加工方法。

【請求項4】 前記第1のレーザ光はパルスレーザ光であることを特徴とする請求項1又は2記載のレーザ加工方法。

【請求項5】 前記予備加熱による被加工物に対する加熱は被加工物の溶融温度を超えないことを特徴とする請求項1～4の何れかに記載のレーザ加工方法。

【請求項6】 前記第1のレーザ光を照射している間に前記第2のレーザ光を照射することを特徴とする請求項1～5の何れかに記載のレーザ加工方法。

【請求項7】 前記第1のレーザを照射した後に、前記第2のレーザを照射することを特徴とする請求項1～5の何れかに記載のレーザ加工方法。

【請求項8】 前記第1のレーザと前記第2のレーザとを、被加工物に対して同じ方向から照射することを特徴とする請求項1～7の何れかに記載のレーザ加工方法。

【請求項9】 前記第1のレーザと前記第2のレーザとを、被加工物に対して反対方向から照射することを特徴とする請求項1～7の何れかに記載のレーザ加工方法。

【請求項10】 前記第1のレーザ光により一光子吸収過程による予備加熱を行い、前記第2のレーザ光により多光子吸収過程による加工を行うことを特徴とする請求項1～9の何れかに記載のレーザ加工方法。

【請求項11】 前記第1のレーザ光の集光スポット径を前記第2のレーザ光による集光スポット径よりも小さく設定したことを特徴とする請求項1～10の何れかに記載のレーザ加工方法。

【請求項12】 被加工物にレーザ光を照射して予熱する第1のレーザと、被加工物にレーザ光を照射して予熱された被加工物を加工する第2のレーザとを有し、前記第2のレーザは超短パルスレーザである特徴とするレーザ加工装置。

【請求項13】 前記超短パルスレーザはフェムト秒レーザである特徴とする請求項12記載のレーザ加工装置。

【請求項14】 前記第1のレーザは連続したレーザ光を出力するものであることを特徴とする請求項12又は13記載のレーザ加工装置。

【請求項15】 前記第1のレーザはパルスレーザ光を

出力するものであることを特徴とする請求項12又は13記載のレーザ加工装置。

【請求項16】 前記第1のレーザ及び前記第2のレーザを駆動して、前記第1のレーザによる照射をしている間に前記第2のレーザを照射させる制御手段を有することを特徴とする請求項12～15の何れかに記載のレーザ加工装置。

【請求項17】 前記第1のレーザ及び前記第2のレーザを駆動して、前記第1のレーザにより照射を行った後に、前記第2のレーザによる照射を行わせる制御手段を有することを特徴とする請求項12～15の何れかに記載のレーザ加工装置。

【請求項18】 前記第1のレーザと前記第2のレーザとを、被加工物に対して同じ方向から照射するための光学系を有することを特徴とする請求項12～17の何れかに記載のレーザ加工装置。

【請求項19】 前記第1のレーザと前記第2のレーザとを、被加工物に対して反対方向から照射するための光学系を有することを特徴とする請求項12～17の何れかに記載のレーザ加工装置。

【請求項20】 前記第1のレーザによるレーザ光の集光スポット径を第2のレーザによる集光スポット径よりも小さく設定するための光学系を有することを特徴とする請求項12～19の何れかに記載のレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はレーザ加工方法及びその装置に関し、特に超短パルスレーザを適用した微細加工技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 超短パルスレーザを適用した微細加工については、例えば「超短パルスレーザによるクロム薄膜のアブレーション加工」(P 53-60、第48回レーザ熱加工研究会論文集(1999.12))において提案されている加工方法がある。

【0003】 上記の文献においては、フェムト秒領域($\sim 10^{-13}$ 秒)の超短パルスレーザを光源に用いてフォトマスクに応用されるクロム膜にレーザ光を照射して熱損傷の無いアブレーション加工について提案している。

【0004】 図6は上記の文献において報告されている加工方法により得られた被加工物の加工断面図であり、フェムト秒領域($\sim 10^{-13}$ 秒)のパルス幅の超短パルスレーザ光を複数回照射したときの加工断面を示している。同図からも明らかのように、加工周囲に熱損傷の無い、シャープな加工エッジをもったパターンが得られている。しかし、加工底部22には円錐状のクロム残渣23が散在している。

【0005】 図7は上記よりもパルス幅の広い(例えばナノ秒の領域)パルスレーザ光を照射したときの加工断

面図である。パルスレーザ光が照射された領域のクロム薄膜21は殆ど除去されており、加工底部22には残渣がなく、また、水晶基板20に対するダメージの無いフラットな加工面が得られている。しかし、加工周囲には熱損傷によるロールアップ24と呼ばれる溶融・再凝固部による盛り上がりが観測され、加工領域が広がっている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記のような従来のレーザ加工方法においては、アブレーションと熱伝導効果とを両立するための加工条件を見い出すことが難しかった。このため、熱損傷や加工の不均一が起こり、高精度な微細加工ができなかった。

【0007】本発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、アブレーションと熱伝導効果とを両立させて高精度な微細加工を可能にしたレーザ加工方法及びその装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】(1) 本発明に係るレーザ加工方法は、第1のレーザ光を照射して被加工物を予熱する工程と、第2のレーザ光を照射して予熱された被加工物を加工する工程とを有し、第2のレーザ光は超短パルスレーザ光である。本発明においては、第1のレーザ光により被加工物を予め加熱してから超短パルスレーザ光により加工を施すようにしたので、超短パルスレーザ光による加工が適切になされており、加工底部に残渣が生ぜず、また、加工周囲の熱損傷が抑制され、シャープな加工形状が得られる。このため、高精度な微細加工が可能になっている。また、予備加熱を第1のレーザ光を照射することにより行っているので、加熱箇所を所望の箇所に限定することができ、例えば残渣が予想される部位に限って予備加熱をすることができるので、この点からも高精度な加工が可能になっている。

【0009】(2) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)の超短パルスレーザ光はフェムト秒レーザ光である。上記の超短パルスレーザ光はフェムト秒レーザ光であることから、加工底部に残渣が生ぜず、また、加工周囲の熱損傷が抑制され、シャープな加工形状が得られる。このため、高精度な微細加工が可能になっている。

【0010】(3) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)又は(2)の第1のレーザ光は連続したレーザ光である。

(4) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)又は(2)の第1のレーザ光はパルスレーザ光である。

(5) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)～(4)において、予備加熱は被加工物の溶融温度を超えないようにする。第1のレーザ光による被加工物に対する不可逆的な変化を避け、予備加熱による加工を避ける。

【0011】(6) 本発明に係るレーザ加工方法は、上

記(1)～(5)において、第1のレーザ光を照射している間に第2のレーザ光を照射する。

(7) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)～(5)において、第1のレーザを照射した後に、第2のレーザを照射する。

【0012】(8) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)～(7)において、第1のレーザ光と第2のレーザ光とを、被加工物に対して同じ方向から照射する。

(9) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)～(7)において、第1のレーザ光と第2のレーザ光とを、被加工物に対して反対方向から照射することを特徴とする。

【0013】(10) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)～(9)において、第1のレーザ光により一光子吸収過程による予備加熱を行い、第2のレーザ光により多光子吸収過程による加工を行う。予備加熱を行った後に超短パルスレーザを照射するので、多光吸收が起こりやすくなってしまい、光化学反応によるアブレーション加工が行われ、熱損傷が抑制される。

(11) 本発明に係るレーザ加工方法は、上記(1)～(10)において、第1のレーザ光の集光スポット径を第2のレーザ光による集光スポット径よりも小さく設定する。予備加熱を主として加工底部の残渣が生じ易い部位に行ってその部位の熱的ボテンシャルを上昇しておこことにより加工底部に残渣が生ぜず、また、加工形状も更にシャープになる。

【0014】(12) 本発明に係るレーザ加工装置は、被加工物にレーザ光を照射して予熱する第1のレーザと、被加工物にレーザ光を照射して予熱された被加工物を加工する第2のレーザとを有し、第2のレーザは超短パルスレーザである。本発明においては、第1のレーザ光により被加工物を予め予熱してから超短パルスレーザ光により加工を施すようにしたので、超短パルスレーザ光による加工が適切になされており、加工底部に残渣が生ぜず、また、加工周囲の熱損傷が抑制され、シャープな加工形状が得られる。このため、高精度な微細加工が可能になっている。また、予備加熱を第1のレーザ光を照射することにより行っているので、加熱箇所を所望の箇所に限定することができ、例えば残渣が予想される部位に限って予備加熱をすることができるので、この点からも高精度な加工が可能になっている。

【0015】(13) 本発明に係るレーザ加工装置は、上記(12)の超短パルスレーザはフェムト秒パルスレーザである。上記の超短パルスレーザ光はフェムト秒レーザ光であることから、加工底部に残渣が生じることなく、また、加工周囲の熱損傷が抑制され、シャープな加工形状が得られる。このため、高精度な微細加工が可能になっている。

【0016】(14) 本発明に係るレーザ加工装置は、上記(12)又は(13)において、第1のレーザは連

続したレーザ光を出力するものである。

(15) 本発明に係るレーザ加工装置は、上記(12)又は(13)において、第1のレーザはパルスレーザ光を出力するものである。

【0017】(16) 本発明に係るレーザ加工装置は、上記(12)～(15)において、第1のレーザと第2のレーザとを駆動して、第1のレーザによる照射をしている間に第2のレーザを照射させる制御手段を有する。

(17) 本発明に係るレーザ加工装置は、上記(12)～(15)において、第1のレーザ及び第2のレーザを駆動して、第1のレーザにより照射を行った後に、第2のレーザによる照射を行わせる制御手段を有する。

【0018】(18) 本発明に係るレーザ加工装置は、上記(12)～(17)において、第1のレーザと第2のレーザとを、被加工物に対して同じ方向から照射するための光学系を有する。

(19) 本発明に係るレーザ加工装置は、上記(12)～(17)において、第1のレーザと第2のレーザとを、被加工物に対して反対方向から照射するための光学系を有する。

(20) 本発明に係るレーザ加工装置は、上記(12)～(19)において、第1のレーザによるレーザ光の集光スポット径を第2のレーザによる集光スポット径よりも小さく設定するための光学系を有する。予備加熱をして加工底部の残渣が生じ易い部位に行ってその部位の熱的ポテンシャルを上昇させておくことにより加工底部に残渣が生ぜず、また、加工形状も更にシャープになる。

【0019】

【発明の実施の形態】実施形態1. 図1は本発明の実施形態1に係るレーザー加工装置の構成を示すブロック図である。このレーザー加工装置は、YAGレーザ10及びチタンサファイアレーザ(フェムト秒レーザ)11を備えており、これらは制御装置12によりその照射タイミングが制御される。YAGレーザ10は、波長λ1:1064nm、パルス幅Δt1:10nsのパルスレーザ光10aを出力する。チタンサファイアレーザ11は、波長λ2:800nm、パルス幅Δt2:100fsのフェムト秒レーザ光11aを出力する。

【0020】YAGレーザ10からのパルスレーザ光10aは、ビームスプリッタ15にて反射された後に、集光レンズ(焦点距離f100mm)16にて集光されて、水晶基板20上に形成されているクロム膜21に照射される。また、チタンサファイアレーザ11からのフェムト秒レーザ光11aは、全反射ミラー14にて反射された後に、ビームスプリッタ15を透過した後に、集光レンズ16にて集光されてクロム膜21に照射される。水晶基板20はXYテーブル30上に配置されており、XYテーブル30を加工形状に対応して移動することにより、クロム膜21が所望の形状に加工される。な

お、全反射ミラー14は800nmのレーザ光を反射し、また、ビームビームスプリッタ15は波長が800nmのレーザ光を透過して波長が1064nmのレーザ光を反射するように設定されているものとする。

【0021】図2は図1のレーザー加工装置の動作を示すタイミングチャートである。制御装置12から制御信号12aが出力されると、YAGレーザ10はその制御信号12aとほぼ同じパルス幅(Δt1:10ns)のパルスレーザ光10aを出力してクロム膜21に照射する。また、その所定時間後に、制御装置12から制御信号12bが出力されると、チタンサファイアレーザ11はその制御信号12の立ち上がりに同期した、パルス幅Δt2:100fsのフェムト秒レーザ光11aを出力してクロム膜21の上記の照射位置と同じ位置に照射する。

【0022】パルスレーザ光10aが照射されるとクロム膜21の温度は次第に上昇していく、熱的ポテンシャルが高くなる。但し、この時の最大温度はクロム膜21の溶融温度を超えないようにし、クロム膜21には不可逆的な変化を与えないようとする。そして、このような状態のときに、フェムト秒レーザ光11aが照射されることで、熱的ポテンシャルが高くなっているクロム膜21が気化してアブレーション加工がなされる。なお、このときのフェムト秒レーザ光11aのエネルギー密度は、予熱後の被加工物に対する加工閾値よりも若干大きめに設定するものとする。

【0023】ここで、フェムト秒レーザ光11aの照射による動作を説明する。一般に、クロム膜21に照射されたレーザ光のエネルギーは電子に吸収された後に格子系へ移動してクロム膜21の温度を上昇させる。その後に、熱はクロム特有の熱物性に従って周囲に拡散していく。しかし、フェムト秒レーザ光11aのパルス幅は電子から格子系へのエネルギーの移動時間よりも短いので、パルス光が照射中に照射領域外に拡散しない。このため、照射領域を効率良く加熱することができ、周囲への熱損傷の抑制が可能になっている。

【0024】また、フェムト秒レーザ光11aの照射による動作を別の観点から説明する。パルスレーザ光10aはエネルギー密度の小さいレーザ光が得られているから、1光子分吸収過程が行われており、パルス幅が長い(時間が長い)ことから熱拡散が行われる。そして、上記の予熱加熱により多光子吸収過程が起きやすい状態になっているときに、上述のフェムト秒レーザ光11aが照射されると、そのパルス幅が短いことから結果的にエネルギー密度の大きいレーザ光が照射されて多光子吸収過程が起き、エネルギーがバンドギャップを超えて分子が分離する。このようにして被加工物のアブレーション加工が、熱反応よらず、光・化学反応によりなされるので、加工周囲への熱損傷の抑制ができ、高精度な微細加工が可能になっている。

【0025】図3は上記の実施形態による加工断面図である。上述のように、パルスレーザー10aにより予備加熱をしてからフェムト秒レーザ光11aを照射して加工するようにしたので、図示のように、加工底部22には残渣が生じることなく、また、加工形状も熱損傷がなくシャープな加工形状になっている。

【0026】実施形態2、図4は本発明の実施形態2に係るレーザー加工装置の構成を示すブロック図である。このレーザー加工装置は、上記の実施形態と同様に、YAGレーザー10及びチタンサファイアレーザー11を備えており、これらは制御装置12によりその照射タイミングが制御される。YAGレーザー10からのパルスレーザ光10aは集光レンズ16にて集光されてクロム膜2に照射される。また、チタンサファイアレーザ（フェムト秒レーザ）11からのフェムト秒レーザ光11aは全反射ミラー17、18にて反射されて集光レンズ19にて集光され、水晶基板20を介してクロム膜21に照射される。このようにして、クロム膜21にはその裏側及び表側の両側からフェムト秒レーザ光11a及びパルスレーザ光10bが照射される。そして、上記の実施形態と同様に、クロム膜21はパルスレーザ光10aの照射により予備加熱がなされ、フェムト秒レーザ光11aの照射によりアブレーション加工が施される。なお、全反射ミラー17、18は波長が800nmのレーザ光を反射するように設定されているものとする。

【0027】ところで、上記の実施形態においては、パルスレーザ光10aをクロム膜21の表側から照射し、フェムト秒レーザ光11aをクロム膜21の裏側から照射した例を示したが、その逆でも良い。即ち、フェムト秒レーザ光11aをクロム膜21の表側から照射し、パルスレーザ光10aをクロム膜21の裏側から照射しても良い。いずれの場合においても、水晶基板20を介してクロム膜21にレーザ光を照射する場合には、レーザ光の波長を水晶基板20を透過し易い波長に設定する必要がある。

【0028】実施形態3、図5は上記実施形態1、2においてクロム膜に照射されるレーザ光の集光スポットの大きさの説明図である。図示の例においては、パルスレーザ光10aの集光スポット10bをフェムト秒レーザ光11aの集光スポット11bよりも小さくしており、主として加工底部22に相当する位置の熱的ポテンシャルを上昇させておいて、フェムト秒レーザ光11aを照射させた際に残渣が残らないようにしている。また、加工部の周囲の熱的ポテンシャルを上げないようしてシャープな加工形状が得られるようにしてある。

【0029】なお、図5の例は典型的な例であり、この他に、集光スポット10b=集光スポット11b、或いは、集光スポット10b>フェムト秒レーザ光11aの集光スポット11bであっても良い。なお、この集光ス

ポットの径の調整は、例えばYAGレーザー10又はチタンサファイアレーザー11にビームエキスパンダを内蔵しておいてビーム径を調整したり、或いは、YAGレーザー10又はチタンサファイアレーザー11から出射されたレーザ光の光学系にビームエキスパンダを挿入することでのビーム径を調整することによりなされる。

【0030】実施形態4、また、被加工物を予備加熱するためのレーザ光は、必ずしもパルスレーザ光である必要はなく連続光であっても良い。また、その光源はYAGレーザに限らず他の固体レーザ、或いはガスレーザ（例えばCO₂レーザ）、半導体レーザを用いても良い。また、被加工物に加工を施すためのレーザについてもチタンサファイアレーザに限らず他のレーザであっても良い。また、上記のYAGレーザ10とチタンサファイアレーザ11とではその波長を異ならせた例（λ1>λ2）について示したが、その波長については同じでも良い。また、発明に係る超短パルスレーザは、熱損傷が抑制されれば良いので、そのパルス幅がフェムト秒領域～ピコ秒領域（～10⁻¹⁵秒～10⁻¹²秒）のパルス幅のパルスレーザが該当する。

【0031】また、被加工物は、上記のクロム膜に限定されるものではなく、例えばアルミナ、シリコン、ゲルマニウム、水晶等の熱伝導率の高い材料においても熱拡散領域が限定されるので精密な加工ができる。更に、本発明の加工は生体、例えば角膜、歯、脳等のレーザアブレーションにも適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1に係るレーザー加工装置の構成を示すブロック図である。

【図2】図1のレーザー加工装置の動作を示すタイミングチャートである。

【図3】本実施形態による加工断面図である。

【図4】本発明の実施形態2に係るレーザー加工装置の構成を示すブロック図である。

【図5】クロム膜に照射されるレーザ光の集光スポットの大きさの説明図である。

【図6】先行文献において報告されている加工断面図である。

【図7】図6の例よりもパルス幅の広いレーザ光を照射したときの加工断面図である。

【符号の説明】

10 YAGレーザ

11 チタンサファイアレーザ

14, 17, 18 反射ミラー

15 ビームスプリッタ

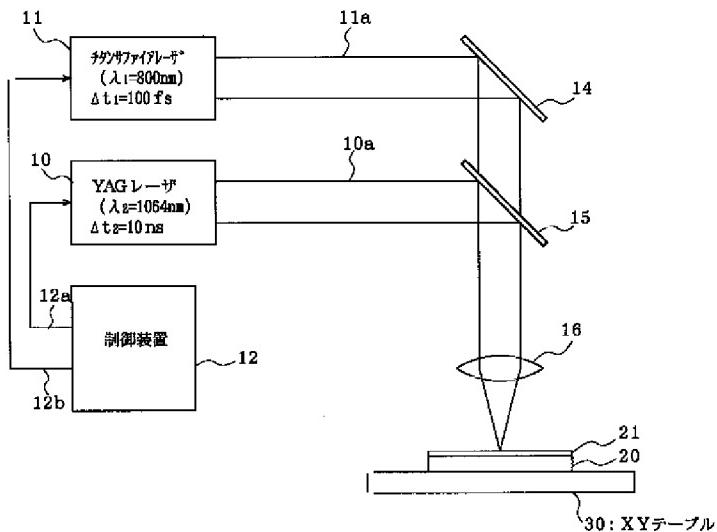
16, 19 集光レンズ

20 水晶基板

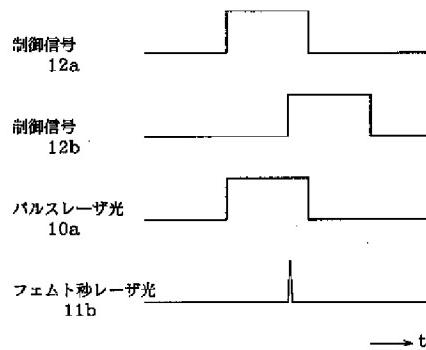
21 クロム膜

30 XYテーブル

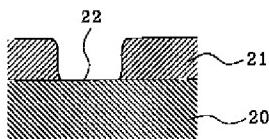
【図1】



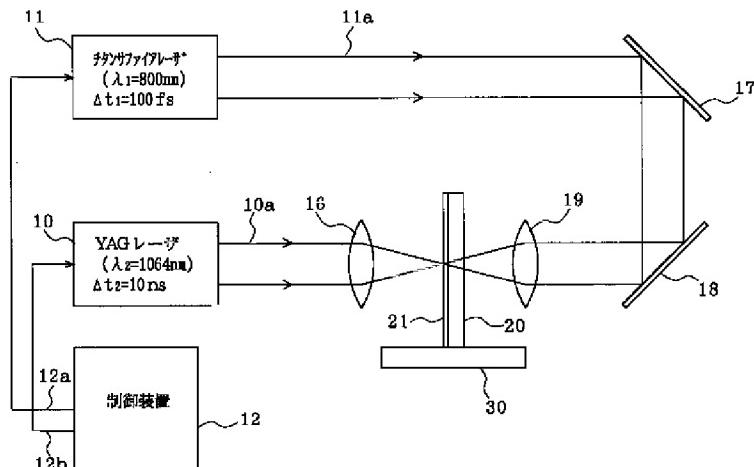
【図2】



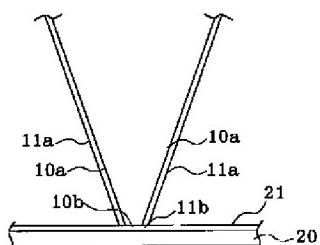
【図3】



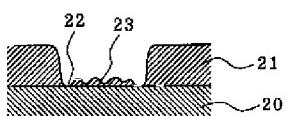
【図4】



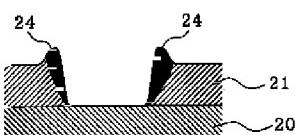
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 中尾 齊

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

一エプソン株式会社内

!(7) 001-212685 (P2001-212685A)

Fターム(参考) 4E068 AF01 AJ03 CA01 CA03 CA07
CA08 CB01 CK01
5F072 AB01 AB20 JJ20 KK05 KK15
MM08 RR01 SS08 YY06